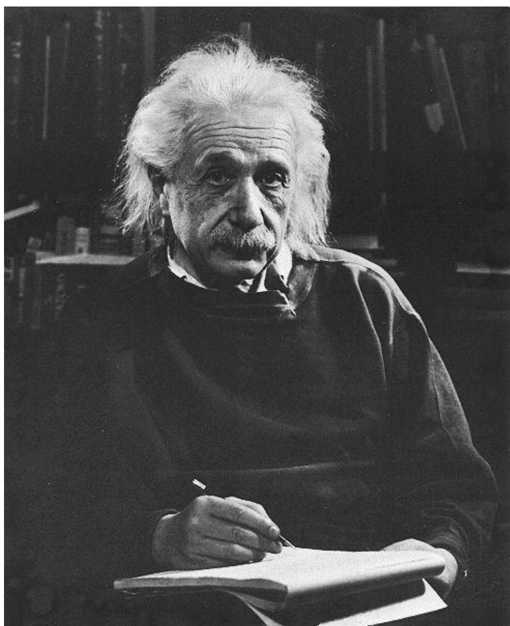


Formulele de transformare ale spaţiului şi timpului

" Lumina este umbra Lui Dumnezeu "   A. Einstein

În luna septembrie , anul 1905 , în revista '' Annalen der Physik '' , un tânar fizician evreu publica un articol intitulat modest '' Despre electrodinamica corpurilor în mişcare '' . Autorul era un obscur functionar al Biroului de Brevete din Berlin , pe nume Albert Einstein .
Nici un om nu bănuia ce se va întâmpla , uriaşa revoluţie ştiinţifică ce va fi stârnită de acest articol . Cum era de aşteptat aproape nimeni nu a luat în consideraţie îndrăzneaţa lucrare a lui Einstein . Recunoaşterea a venit mult mai târziu . Chiar după mai bine de un deceniu şi jumătate , marea parte a lumii academice nu vroia să accepte Teoria Relativităţii , motiv pentru care în anul 1921 , când i-a fost înmânat Premiul Nobel lui Einstein , motivul principal invocat a fost " Pentru explicarea efectului fotoelectric " , şi nu pentru relativitate . Un mare savant se zice că i-ar fi spus lui Einstein că

revoluţia ce o va stârni teoria sa , va fi poate egalată doar de cea izbucnită după publicarea sistemului geocentric de către Nicolaus Copernic .
Încă de la debutul lucrării sunt prezentate cele două principii fundamentale pe care se clădeşte întreg edificiul Teoriei Relativităţii :

1.Principiul constanţei vitezei luminii în vid .
2.Principiul Relativităţii.

Primul ne vorbeşte despre faptul că viteza luminii este aceeaşi pentru toate sistemele de referinţa inerţiale , al doilea despre echivalenţa acestora în raport cu legile naturii . Aceste două principii au fost prezentate şi explicate în capitolele anterioare .
Fizica lui Newton va deveni astfel un caz particular al Teoriei Relativităţii , valabilă doar pentru viteze relativ mici în comparaţie cu cea a luminii .
Relativitatea a schimbat totul . Cele mai elementare noţiuni despre spaţiu , timp , masa , energie şi Univers vor fi supuse relativizării .
Poate unul dintre cele mai inedite şi interesante efecte ale relativităţii este scurgerea timpului în mod diferit pentru diverse SRI-uri , cunoscutul fenomen de dilatare temporară . Despre acest fenomen şi despre cel de contracţie spaţială se va vorbi în acest capitol . Pentru înţelegerea acestora este destul să facem unele mici experimente mintale .
Fie două SRI-uri oxyz şi o’x’y’z’ care se deplasează unul faţă de celalalt cu viteza v .

Desen cu SRI-uri

Să ne imaginăm că în aceste două SRI-uri se afla doi observatori , unul în sistemul oxyz iar celalalt în sistemul o’x’y’z’ . Din punctul de vedere al fiecăruia , sistemul său se afla în repaos în timp ce sistemul celuilalt se află în mişcare cu viteza v . In SRI-ul o’x’y’z’ în origine (o’) se află o sursă de lumină , iar la distante egal depărtate de aceasta sursă se află doua oglinzi de-a lungul axelor o’x’ si o’y’ , o1 respectiv o2 . Lungimea acestor braţe este

evident egală , însă din motive ce vor deveni mai clare ulterior să notam braţul o'x' cu l1 şi braţul o'y' cu l2 . Fie l1 = l2 = l .

Desen cu SISTEMUL o'x'y'z'

La un moment dat din sursa o' pornesc simultan două raze de lumină , una de-a lungul braţului l1 , cealaltă de-a lungul braţului l2 , spre oglinzile o1 şi o2 . Dupa reflexia pe cele două oglinzi , razele se vor întoarce înapoi în punctul o' . Observatorul din o'x'y'z' nu va observa nimic neobişnuit . Cum l1 si l2 sunt egale , intervalele de timp necesare parcurgerii acestor distanţe sunt egale , deci razele vor ajunge în acelaşi timp în o' (se observă asemănarea cu dispozitivul lui Michelson) . Aceste intervale vor fi : t1 = t2 = t = 2l/c ec.(1) (unde c este viteza luminii în vid) .
Pentru observatorul din oxyz intervalul de timp în care se petrece acest fenomen , plecarea razelor de lumină din o' şi ajungerea lor în acelaşi punct va fi alta . Iată de ce .

Desen cu schema traiectoriei razei de lumina observata din SRI-ul o'x'y'z'

În primul rând traiectoria razei de lumină ce se propagă de-a lungul braţului l2 va fi mai mare decât în cazul în care observaţia se face în SRI-ul oxyz după cum se observă în figură . Aceasta nu va mai fi perpendiculară pe direcţia mişcării , deoarece în timp ce raza se îndreaptă spre oglinda o2 , aceasta se deplasează cu viteza v în direcţia indicată . Această traiectorie este cu atât mai mare cu cât viteza de deplasare relativă a unui sistem fată de celălalt este mai mare . Intervalul de timp total (dintre plecarea şi sosirea razei în o') va fi , folosind teorema lui Pitagora : $T = 2\sqrt{l22 + v2T2/4}$ /c , dar din ec. (1) l = tc/2 , şi cum l2 = l , rezultă : $T = 2\sqrt{t2c2/4 + v2T2/4}$ /c ridicând la pătrat obţinem : T2c2 = 4(t2c2/4+v2T2/4) şi simplificând T2 (c2-v2) = t2c2 de unde rezultă t2/T2 = 1-v2/c2 sau t/T = $\sqrt{1 - v2/c2}$ sau T = 2l/c $\sqrt{1 - v2/c2}$. ec. (2).

Am obţinut astfel formula de dilatare a duratelor , deoarece factorul $\sqrt{1 - v2/c2}$ este , după cum se poate observa , subunitar . Cu alte cuvinte dacă durata unui fenomen într-un sistem de referinţă inerţial este t , durata aceluiaşi fenomen observat din alt SRI care se deplasează fată de primul cu viteza v va fi : t/ $\sqrt{1 - v2/c2}$, deci o durată mai mare .

Însă ce se întâmplă cu raza de lumină ce se propaga de-a lungul braţului l1 ?

Desen cu sistemul o'x'y'z' in care se propaga raza de-a lungul axei o'x'.

În acest caz l1 nu va mai fi egal cu l2 sau cu l . Iată de ce . Intervalul de timp dintre plecarea razei din o' înspre oglinda o1 şi ajungerea la aceasta va fi T1 = l1/c-v , deoarece în timp ce raza se îndreaptă spre spre o1 , oglinda " fuge " în aceeaşi direcţie . Imediat după reflexie raza va ajunge în punctul de origine dupa T2 = l1/c+v . Timpul total T de la plecarea din o' până la

ajungerea în acelaşi punct va fi T = T1 + T2 , T = l1 (1/c-v + 1/c+v) sau T = 2l1c/c2-v2 , amplificând fracţia cu c rezultă T = 2l1/c c2/c2-v2 sau T = 2l1/c (1-v2/c2) ec.(3) . Egalând ecuaţiile (2) si (3) , rezultă 2l/c $\sqrt{1-v2/c2}$ = 2l1/c(1-v2/c2) de unde obţinem l1 = l$\sqrt{1-v2/c2}$, formula de contracţie spaţială . De reţinut este faptul că acest fenomen de contracţie are loc doar pe direcţia mişcării , motiv pentru care s-au notat cele doua braţele cu l1 şi l2 . În cazul în care ar avea loc contracţii şi pe alte direcţii s-ar obţine o serie de paradoxuri uşor de imaginat .
Nu puţini au fost cei care au crezut iniţial că aceste efecte relativiste (dilatarea temporară şi contracţia spaţială) sunt doar nişte iluzii optice , neavând nici o legătură cu ce se întâmpla în realitate . Bineânţeles că aceste supoziţii sunt false .
Să ne inchipium că în figura de mai jos se află o tânără în sistemul o'x'y'z' , ce se deplasează fată de noi cu viteza v .

Figura cu un sistam de coordonate

Din cauza fenomenului de contracţie spaţială , aceasta va părea mai subţire decât este în realitate , mai exact , cu atât mai subţire cu cât viteza sistemului în care se află se deplasează mai repede fată de noi . În acelaşi timp această domnişoară va părea că îmbătrâneşte mult mai greu , din cauza scurgerii diferite a timpului în cele doua SRI-uri . Însă , din păcate pentru ea , nu va putea fi admirată îndeajuns din cauza vitezei mari cu care se va deplasa , ca să nu mai vorbim despre faptul că deşi pare mai slabă , are de fapt câteva kilograme în puls , din cauza altui efect relativist despre care se va vorbi în capitolele următoare .